

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **ZAVRŠNI RAD**

**Franjo Beštak**

Zagreb, 2015. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Dragutin Lisjak, dipl. ing.

Student:

Franjo Beštak

Zagreb, 2015. godina.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se firmi STSi d.o.o. iz Zagreba – članu Ina grupe, koja me je primila da odradim svoj završni rad.

Posebno se zahvaljujem na stručnoj pomoći Saši Bratku – voditelju Odjela za termografiju, vibracije i lasersko centriranje ( Služba tehničke kontrole i dijagnostike ), dipl.ing.stroj. Danku Dobranoviću, kao i svim ostalim djelatnicima firme STSi d.o.o., s kojima sam surađivao.

Također se zahvaljujem na pomoći svojem mentoru prof. dr. sc. Dragutinu Lisjaku.

Franjo Beštak



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student:

**FRANJO BEŠTAK**

Mat. br.: 0035184320

Naslov rada na  
hrvatskom jeziku:

**ODRŽAVANJE ROTACIJSKE OPREME PRIMJENOM  
TERMOGRAFIJE**

Naslov rada na  
engleskom jeziku:

**MAINTENANCE OF ROTATING EQUIPMENT USING  
THERMOGRAPHY**

Opis zadatka:

1. Detaljno opisati termografiju kao metodu preventivnog održavanja.
2. Prikazati i opisati rad termografskih sustava.
3. Prikazati primjenu termografije u održavanja pumpi i kompresora u poduzeću  
INA d.d., postrojenja u Molvama.
4. Zaključak.

Zadatak zadan

28. studenog 2014.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Dragutin Lisjak

Rok predaje rada:

1. rok: 26. veljače 2015.

2. rok: 17. rujna 2015.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 2., 3., i 4. ožujka 2015.

2. rok: 21., 22., i 23. rujna 2015.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zoran Kunica

## Sadržaj

Popis slika .....	II
Popis tablica .....	III
Popis oznaka.....	IV
Sažetak .....	V
Summary .....	VI
1. Uvod.....	1
1.1. Održavanje .....	1
1.2. Strategije održavanja.....	1
2. Termografija kao metoda preventivnog održavanja .....	3
2.1. Općenito o termografiji.....	3
2.2. Glavna podjela termografije: .....	4
2.3. Zašto termografija u industrijskom održavanju? .....	4
2.4. Primjena termografije u industrijskom održavanju.....	5
3. Rad termografskih sustava .....	6
3.1. Osnove toplinskog zračenja .....	6
3.1.1. Toplinska energija.....	7
3.1.2. Emisivnost.....	8
3.2. Princip rada termografskih sustava .....	9
3.3. Razlika između infracrvenog filma i termografije.....	11
4. Primjena termografije u održavanju rotacijske opreme u poduzeću INA d.d., postrojenja u Molvama .....	12
4.1. Općenito o objektima prerade plina Molve (CPS MOLVE).....	12
4.2. Praćenje stanja pumpe P-3202 A .....	15
4.2.1. Postupak snimanja pumpe.....	16
4.3. Praćenje stanja kompresora K-1933 .....	25
4.3.1. Postupak snimanja kompresora.....	25
5. Oprema i alati korišteni tijekom IC snimanja .....	35
6. Zaključak.....	38
7. Literatura.....	39
Prilozi .....	40

## Popis slika

Slika 1.	Spektar zračenja po valnim duljinama [2].....	6
Slika 2.	Princip rada suvremenog termografskog uređaja [2] .....	10
Slika 3.	CPS Molve .....	12
Slika 4.	Shematski prikaz procesa CPS Molve .....	14
Slika 5.	Pumpa 3202- A .....	16
Slika 6.	Prikaz IC i obične fotografije pumpe .....	17
Slika 7.	Usporedni prikaz kućišta pumpe s ležajevima po datumima .....	18
Slika 8.	Termogram i fotografija u magli .....	19
Slika 9.	Graf praćenja temperature kućišta pumpe – Area1 .....	20
Slika 10.	Pumpa s ulaznim i izlaznim cjevovodom.....	21
Slika 11.	Prednji ležaj i brtvenica.....	21
Slika 12.	Graf praćenja temperatura na prednjem ležaju i brtvenici .....	22
Slika 13.	Stražnji ležaj i brtvenica.....	23
Slika 14.	Graf praćenja temperatura na stražjem ležaju i brtvenici .....	23
Slika 15.	Primjer obrade slike u Flir Tools-u .....	24
Slika 16.	Kompresor C- 1933.....	26
Slika 17.	IC prikaz i fotografija desnog cilindra kompresora.....	26
Slika 18.	Usporedni prikaz desnog cilindra kompresora po datumima .....	27
Slika 19.	Termogram i slika tlačnih ventila desnog cilindra kompresora .....	28
Slika 20.	Graf temperatura T.V. desnog cilindra u praćenom periodu.....	28
Slika 21.	Termogram i slika usisnih ventila desnog cilindra kompresora.....	29
Slika 22.	Graf temperatura U.V. desnog cilindra u praćenom periodu .....	29
Slika 23.	Usporedni prikaz lijevog cilindra kompresora po datumima .....	30
Slika 24.	Termogram i slika tlačnih ventila lijevog cilindra kompresora.....	31
Slika 25.	Graf temperatura T.V. lijevog cilindra u praćenom periodu .....	31
Slika 26.	Termogram i slika usisnih ventila lijevog cilindra kompresora .....	32
Slika 27.	Graf temperatura U.V. lijevog cilindra u praćenom periodu .....	32
Slika 28.	Termogram i slika prednjeg ležaja kompresora .....	33
Slika 29.	Graf temperatura prednjeg ležaja kompresora u praćenom periodu .....	33
Slika 30.	Termogram i slika stražnjeg ležaja kompresora.....	34
Slika 31.	Graf temperatura stražnjeg ležaja kompresora u praćenom periodu .....	34
Slika 32.	IC kamera Flir SC660 .....	35

**Popis tablica**

Tablica 1.	Alati za analizu u softveru [2].....	36
Tablica 2.	Tehnički podaci kamere .....	37

**Popis oznaka**

Oznaka	Jedinica	Opis
$f$	Hz	frekvencija
$\lambda$	m	valna duljina
$\varepsilon$	-	faktor emisivnosti
T	°C	temperatura
$\Delta T$	°C	razlika temperature
Q	m <sup>3</sup> /s	protok
p	bar	tlak
P	kW	snaga
n	min <sup>-1</sup>	brzina vrtnje
$\alpha$	rad; °	brzina vrtnje
U	V	napon
m	kg	masa
l	m	duljina



## Sažetak

Završni rad prikazuje primjenu infracrvene termografije u strojarstvu. Eksperimentalni dio rada odrađen je u suradnji s poduzećem STSi d.o.o. na Ininom postrojenju vađenja, obrade i distribucije zemnog plina u Molvama.

Cilj rada bio je pokazati primjenu IC termografije u održavanju rotacijske opreme na postrojenju u Molvama. U razdoblju od 45 dana, praćeno je stanje jedne pumpe i jednog kompresora na postrojenju, pri čemu su prikazane bitne činjenice, problemi itd. Kroz rad se opisuje termografija kao metoda preventivnog održavanja, princip rada termografskih sustava, oprema i alati koji su korišteni prilikom ispitivanja.

Ključne riječi:

Održavanje, termografija, rotacijska oprema, pumpa, kompresor

## **Summary**

The final paper presents the application of infrared thermography in mechanical engineering. The experimental part of the work has been done in cooperation with the company STSi Ltd. on the INA plant extraction, processing and distribution of natural gas in Molve. The aim of the work was to demonstrate the application of infrared thermography in the maintenance of rotating equipment in the plant in Molve. During the period of 45 days, the state of the one pump and one compressor was followed at the plant, where they presented the essential facts, problems and so on. Thermography is described as a predictive maintenance, and also the working principle of thermographic systems, equipment and tools that were used during the tests .

Key words:

Maintenance, thermography, rotary equipment, pump, compressor

## 1. Uvod

### 1.1. Održavanje

Održavanje općenito govoreći je postupak kojim se nastoji održati stanje ili funkcionalnost nečega na odgovarajućem nivou.

Održavanje u smislu industrijskog održavanja podrazumjeva postupak pregleda, popravka ili poboljšavanja stroja ili opreme, čime joj se otklanja kvar, poboljšava postojeće stanje ili samo produžava radni vijek.

Teorija održavanja temelji se na dva sukobljena zahtjeva:

- Troškovi održavanja moraju biti što manji,
- Uređaj mora raditi što pouzdanije.

### 1.2. Strategije održavanja

Postoje dvije strategije održavanja. To su:

- Korektivno održavanje,
- Preventivno održavanje.

**Korektivno održavanje** je održavanje kod kojeg se uređaj održava tek nakon što je nastupio kvar odnosno zastoj. Ovaj način održavanja je najzastupljeniji usprkos cijelom nizu negativnih svojstava koje sa sobom nosi. Ovaj način održavanja naziva se i „ne diraj dok radi“.

**Preventivno održavanje** je održavanje prilikom kojeg se uređaj održava prije nego nastupi kvar. Ovaj način dokida negativna svojstva korektivnog održavanja, ali sa sobom nosi neka druga negativna svojstva. Preventivno održavanje se može vršiti na nekoliko načina.

Može biti izvedeno kao:

- Planirano održavanje, koje se vrši u zadanim vremenskim intervalima ili na temelju broja prijeđenih kilometara, na temelju broja radnih sati, itd.
- Prediktivno održavanje (održavanje po stanju) kod koje se aktivnosti održavanja realiziraju na temelju stanja dijelova i sustava.

Korektivno održavanje se najčešće realizira neplanski i urgentno, a preventivno održavanje se realizira planski, odnosno kada se za to ukaže potreba.

Preventivno održavanje osiguralo bi velike uštede kada bi bilo moguće predvidjeti da će neki dio zatajiti. Skriveni kvarovi u najnepovoljnijem trenutku mogu izazvati prekid procesa proizvodnje ili pak havariju postrojenja (npr. eksplozija ili požar). Planiranim korektivnim mjerama i uz kvalitetnu pripremu, isto se može spriječiti.

Održavanje po stanju koristi niz tehnologija s ciljem postizanja i održavanja optimalnog pogonskog stanja strojeva i pojedinačnih komponenata tako da se mjerenjem i određivanjem tendencija fizikalnih parametara u usporedbi s poznatim graničnim vrijednostima ili specifikacijama već unaprijed otkriju, analiziraju i otklone potencijalni problemi strojeva, prije nego nastane kvar.

U ovu skupinu održavanja ( održavanje po stanju ), spada i **infracrvena termografija**, na kojoj je rad baziran.

## 2. Termografija kao metoda preventivnog održavanja

### 2.1. Općenito o termografiji

Svako tijelo u svoju okolinu odašilje elektromagnetsko zračenje, a intenzitet tog zračenja u prvom redu ovisi o temperaturi površine tog tijela. Infracrvena termografija je nerazorna, beskontaktna metoda mjerenja koja omogućava dobivanje rezultata u realnom vremenu bez prekidanja proizvodnog procesa i bez utjecaja na isti. Temelji se na mjerenju intenziteta infracrvenog (toplinskog) zračenja s površine promatranog tijela.

Glavna prednost upotrebe termografskih kamera je brzo i jednostavno otkrivanje grešaka, gdje se može izbjeći dugotrajan proces provjere i ispravljanja grešaka. Greške se mogu otkriti prije nego što dođe do kvara opreme ili drugih vrsta gubitaka. Na taj način smanjuju se troškovi održavanja, povećava se radni vijek opreme te produktivnost rada.

IC termografija je jedan od učestalih dijagnostičkih alata preventivnog održavanja.

IC termografija, termalno snimanje, termografsko snimanje, ili termalni video, je dio znanosti infracrvenog snimanja. Termografske kamere opažaju zračenje u infracrvenom pojasu elektromagnetskog spektra (ugrubo 0.9-14 mikrometara) i stvaraju snimke tog zračenja koje nazivamo termogramima, koji u sivim tonovima ili nekom kodu boja daje sliku temperature raspodjele na površini promatranog objekta. Temperaturna raspodjela posredno daje informaciju o različitim stanjima same površine ili je pak odraz strukture i unutrašnjeg stanja promatranog objekta.

Temperatura je odraz energetskog stanja. Svaka promjena stanja popraćena je promjenom temperature. Pregrijavanja ili velike razlike u temperaturi često su znak da sa opremom ili strukturom nešto nije u redu. Kontrolom i praćenjem temperaturnih razlika mogu se predvidjeti i spriječiti kvarovi koji se još nisu dogodili.

Glavni cilj termografskog snimanja jest dobiti snimak (termogram), iz kojeg možemo iščitati podatke o toplinskom stanju promatranog objekta, kao što su temperatura, emisijski faktor

površine, temperaturna razlika itd. Za tu svrhu koriste se termografski sustavi tj. oprema, koja se povezuje s računalom, da bi se obradili snimljeni termogrami, preko postojećih softvera.

## **2.2. Glavna podjela termografije:**

- **Aktivna**
- **Pasivna**
- **Kvalitativna**
- **Kvantitativna**

Sva tijela iznad apsolutne nule emitiraju infracrveno zračenje. Stoga je dobar način za mjerenje toplinskih varijacija korištenje uređaja za infracrveno viđenje.

Kod pasivne termografije, dijelovi koji nas zanimaju su prirodno na višoj ili nižoj temperaturi od pozadine. U aktivnoj je termografiji s druge strane, potreban je energetski izvor da bi napravio termalni kontrast između predmeta promatranja i pozadine. Aktivni je pristup potreban u mnogim slučajevima kad su predmeti promatranja u ravnoteži s okolinom.

Naknadna obrada snimljenih termograma na računalu može biti kvalitativna, što podrazumijeva samo uočavanje mjesta različitosti, ili kvantitativna što uključuje utvrđivanje iznosa temperatura, temperaturnih razlika ili emisijskih faktora po pojedinim lokacijama na termogramu.

## **2.3. Zašto termografija u industrijskom održavanju?**

- Kod industrijskog održavanja, korištenje termografskih kamera postaje jedno od ključnih čimbenika u osiguravanju i održavanju konkurentnosti poduzeća.
- Kod redovite i pravilne upotrebe osigurava se nesmetani rad strojeva i uređaja.
- Pojednostavljuje se otkrivanje grešaka i smanjuje vrijeme popravka ili zamjene
- Smanjuju se troškovi održavanja.
- Smanjuju se troškovi gašenja i neplaniranog zastoja proizvodnje.
- Omogućava se jednostavno i učinkovito preventivno održavanje plana.

**2.4. Primjena termografije u industrijskom održavanju**

- Kontrola rada strojeva i opreme ( kontrola ležajeva, zupčanika, osovina, remenica..)
- Kontrola sustava za opskrbu električnom energijom
- Kontrola motora, generatora i ostalih rotirajućih uređaja
- Kontrola procesa instrumentacije
- Kontrola objekata (propuštanja, pukotina, grijanja/hlađenja sustava)

Infracrvena slika je postala nezamjenjivi alat za predvidljivo održavanje, traženje grešaka ili inspekcijskih pregleda na mnogim područjima.

### 3. Rad termografskih sustava

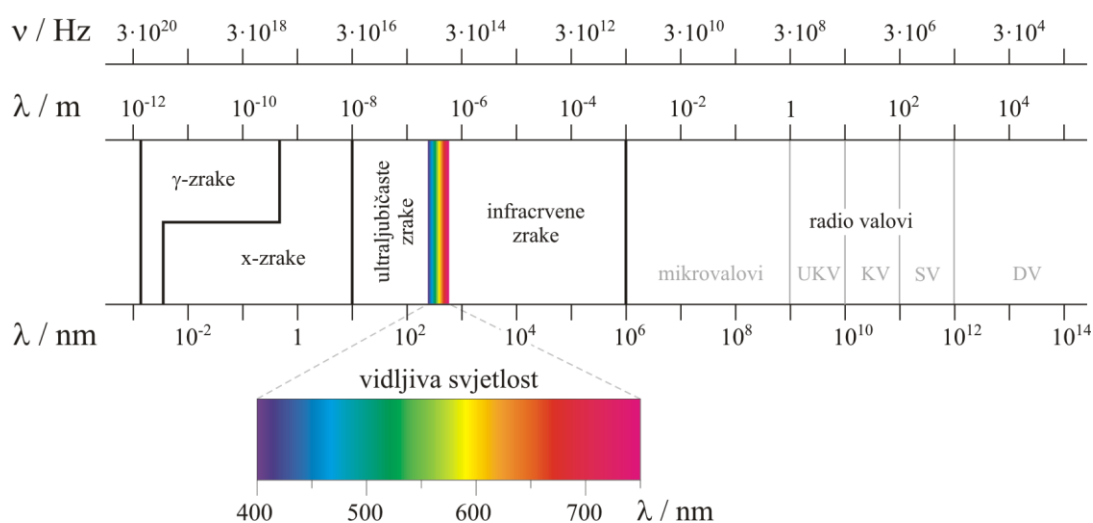
#### 3.1. Osnove toplinskog zračenja

Rad termografskih sustava počiva na osnovama toplinskog zračenja pa prvo treba spomenuti svjetlost.

Svjetlost je elektromagnetsko zračenje koje je vidljivo ljudskom oku. Elektromagnetsko zračenje možemo predočiti kao roj čestica koje se nazivaju fotoni. Svaki foton nosi određenu količinu energije. Cjelokupni raspon zračenja koje nastaje u svemiru nazivamo elektromagnetski spektar.[4]

Vrste elektromagnetskog zračenja:

- gama zračenje ( $\gamma$ -zrake)
- rendgensko zračenje (X-zrake)
- ultraljubičasto zračenje
- vidljivo zračenje (svjetlost)
- infracrveno zračenje
- mikrovalno zračenje
- radiovalovi



Slika 1. Spektar zračenja po valnim duljinama [2]



Elektromagnetska zračenja uzajamno se razlikuju jedino frekvencijom. Svjetlost nastaje kada se električni naboji kreću u elektromagnetskom polju. Atom odašilje svjetlost kada je neki od njegovih elektrona potaknut dodatnom energijom izvana. Zračenje pobuđenih elektrona predočavamo valom. Svjetlost manje energije ima manju učestalost ili frekvenciju, ali veću valnu duljinu, a ona s više energije ima veću frekvenciju ali manju valnu duljinu. [4]

$$\text{valna duljina} = \text{brzina svjetlosti} / \text{frekvencija} \quad (1)$$

Brzina svjetlosti, kao i svih ostalih elektromagnetskih valova, u vakuumu iznosi 299 792 458 m/s.

#### Crno tijelo

Crno tijelo je idealno tijelo koje apsorbira cjelokupno zračenje koje pada na njega, bez obzira na valnu duljinu ili kut upada i ništa ne reflektira. Jasna je posljedica ove definicije da je cjelokupno zračenje koje dolazi s površine crnog tijela emitirano zračenje, te da ni jedno tijelo ne može emitirati više zračenja od crnog tijela pri određenim valnim duljinama i temperaturi. Crno tijelo nema preferirani smjer emitiranja zračenja, zračenje je difuzno. [2]

#### Realna tijela

Zračenje koje dolazi na površinu realnog tijela djelomično se apsorbira, djelomično reflektira, a djelomično propusti. [2]

##### **3.1.1. Toplinska energija**

Važno je primjetiti da termalno snimanje prikazuje količinu infracrvene energije koju objekt emitira, transmitira i reflektira. Zbog toga je poprilično teško odrediti točnu temperaturu objekta ovom metodom.

Stoga je  $\text{Ulazna Energija} = \text{Emitirana Energija} + \text{Transmitirana Energija} + \text{Reflektirana Energija}$ , pri čemu je Ulazna Energija energetski profil koji vidimo kroz termograf. Emitirana je energija ona koju nastojimo mjeriti, Transmitirana Energija je ona koja prolazi kroz objekt s udaljenog toplinskog izvora, a Reflektirana Energija je količina energije koju reflektira površina objekta sa udaljenog toplinskog izvora.

Ako objekt zrači više topline nego njegova okolina, onda će toplinski tok ići od toplijeg tijela prema hladnijem prema principima Drugog Zakona Termodinamike. Stoga, ako postoji hladno područje u termogramu, taj će objekt apsorbirati energiju koju emitira topli objekt. Sposobnost oba tijela da emitiraju ili apsorbiraju se naziva emisivnost. Na otvorenom je u obzir potrebno uzeti i konvektivno djelovanje vjetra ako želimo doći do preciznih temperaturnih mjerenja. [4]

### 3.1.2. *Emisivnost*

Emisivnost ili faktor emisivnosti  $\varepsilon$  je pojam koji predstavlja sposobnost materijala da emitira toplinsko zračenje. Svaki materijal ima drugu emisivnost, a određivanje točne emisivnosti nekog materijala je poprilično teško. Emisivnost materijala se kreće od 0,00 (ništa ne emitira) do 1,00 (potpuno emitira); emisivnost se često mijenja s temperaturom. Crno tijelo je teoretsko tijelo koje zrači Infracrvene zrake pri svojoj kontaktnoj temperaturi. Ako termopar na izvoru koji se ponaša kao Crno tijelo očitava 50 stupnjeva Celzijusovih, zračenje koje emitira Crno tijelo će također biti 50 stupnjeva Celzijusovih. Stoga, Crno tijelo ima emisivnost 1.

Kako ne postoji takvo tijelo kao Crno tijelo, infracrveno zračenje će biti niže temperature nego što je kontaktna temperatura. Emisivnost infracrvenog zračenja je stoga kvocijent temperature zračenja i kontaktne temperature.

Primjetno je da neki objekti imaju drugačije emisivnosti u dugovalnom području nego u srednjevalnom. Emisivnost se također mijenja i s temperaturom.

Da bi se napravilo temperaturno mjerenje tijela, termografer će provjeriti tablicu emisivnosti kako bi odabrao emisivnost objekta koju zatim unosi u kameru. Algoritmi termografske kamere će ispraviti temperaturu na temelju faktora emisivnosti i izračunati temperaturu bližu

stvarnoj kontaktnoj temperaturi objekta. Termografer će pokušati testirati emisivnost promatranog objekta ako je moguće. To je preciznije nego što je određivanje pomoću tablice. Uobičajena je metoda da se materijal poznate, visoke emisivnosti stavi u kontakt s površinom objekta.

Očitavanje temperature se zatim može uzeti od objekta, s faktorom emisivnosti namještenim na vrijednost testnog materijala. Zatim se termograf uperi u dio objekta na kojem nema testnog materijala i opet se očitava temperatura.

Emisivnost namješta sve dok uređaj ne pokaže istu temperaturu kao u prethodnom slučaju. Ovo, naravno, daje mnogo precizniji faktor emisivnosti. Ipak, postoje mnogi trenuci kada se ne može koristiti ova metoda, primjerice u opasnim uvjetima ili ako je objekt nepristupačan, u kojima ovisimo isključivo o tablicama. [4]

### **3.2. Princip rada termografskih sustava**

Termografski se sustav sastoji od termografske kamere i jedinice za obradu termograma (osobno računalo). U samoj kameri integrirana je IC optika, osjetnik IC zračenja, jedinica za pretvorbu električnog u video signal, monitor i kartica za pohranu podataka. Računalo služi za obradu termograma prema određenom softveru i u njega se podaci učitavaju s kartice koja se nalazi u kameri. [2]

Kako su karakteristike elektromagnetskog zračenja jednake za cijeli elektromagnetski spektar, to je optika koja se koristi u IC uređajima po obliku jednaka onoj kod fotografskih uređaja, no različita po materijalima iz kojih je napravljena. Materijali koji se koriste za izradu leća moraju biti propusni za IC zračenje, a to su; germanij, cink sulfid, cink selenid za dugovalna IC zračenja te silikon, safir, kvarc ili magnezij za srednjevalna IC zračenja. [2]



**Slika 2. Princip rada suvremenog termografskog uređaja [2]**

Da bi se iz zračenja prispjelog na osjetnik kamere izračunala korektna vrijedost temperature promatranog objekta potrebno je poznavati svojstva površine objekta, temperaturu okolišnih objekata, udaljenost kamere od promatranog objekta, temperaturu i relativnu vlažnost zraka. Sve te podatke potrebno je prethodno podesiti kao ulazne parametre u softveru kamere, ili ih naknadno podesiti prilikom obrade IC slike u programu, što je puno jednostavnije i brže. [2]

Utjecaj zračenja iz okoliša treba svesti na minimum, osobito ako se radi o objektu koji je na temperaturi bliskoj okolišnjoj ili ima nisku vrijednost emisijskog faktora.

Osim utvrđivanja temperature objekta poznatog emisijskog faktora, softver u kameri pruža i drugu mogućnost. Na temelju poznavanja temperature objekta i svih prethodno navedenih ulaznih parametara moguće je dobiti vrijednost emisijskog faktora promatrane površine.

Kad se pak radi o potrebi anuliranja propusnosti, ispred objektiva kamere stavljaju se različiti filtri čija je zadaća spriječiti prolaz kroz objektiv elektromagnetskih valova onih valnih duljina za koje je promatrani objekt propustan.

Termografska kamera koristi niz matematičkih algoritama. Kako kamera može vidjeti samo elektromagnetsko zračenje koje se ne može vidjeti ljudskim okom, izgradit će sliku u opažaču i zatim zapisati vidljivu sliku, uglavnom u JPG formatu. Kako bi se izvela uloga nekontaktnog temperaturnog snimača, promijenit će se temperatura gledanog objekta namještanjem faktora

emisivnosti. Mogu se koristiti drugi algoritmi kako bi utjecali na mjerenje, uključujući transmisijsku sposobnost transmisijskog medija (uglavnom zraka), temperaturu transmisijskog medija i druge. Sve će ove postavke utjecati na izlaznu temperaturu promatranog objekta.

Sve ovo čini termografsku kameru odličnim alatom za održavanje električnih i mehaničkih sustava u industriji. [4]

### **3.3. Razlika između infracrvenog filma i termografije**

Infracrveni film je osjetljiv na infracrveno zračenje između 250°C i 500°C, dok je raspon termografa -50°C do 2000°C. Znači, da bi infracrveni film nešto prikazao, to nešto mora biti na temperaturi preko 250 stupnjeva Celzijusovih ili reflektirati infracrvenu radijaciju s nečega što je barem toliko toplo. Uređaji za noćni vid prikazuju sliku bliskog infracrvenog zračenja i vide u potpunom mraku. Postoje i uređaji koji samo pojačavaju okolno osvjetljenje. [4]

#### 4. Primjena termografije u održavanju rotacijske opreme u poduzeću INA d.d., postrojenja u Molvama

Završni rad odrađen je na području preventivnog održavanja rotacijske opreme primjenom IC termografije. Praktični dio rada odrađen je u firmi STSi d.o.o., ( u Službi tehničke kontrole i dijagnostike, Odjelu za termografiju, vibracije i laserska centriranja ) iz Zagreba, na Ininom Postrojenju za vađenje, obradu i distribuciju zemnog plina u Molvama.

##### 4.1. Općenito o objektima prerade plina Molve (CPS MOLVE)

Procesno postrojenje, Objekti prerade plina Molve (prije CPS Molve) predstavlja početak spomenutog tehnološkog lanca, a osnovna zadaća postrojenja je obrada ulazne sirovine, prirodnog plina iz četiri polja Duboke Podravine (Molve, Kalinovac, Stari Gradac i Gola Duboka) do razine koju zahtjeva distributivni transport, kao i izdvajanje  $C_{2+}$  frakcije.



Slika 3. CPS Molve

Šest godina nakon otkrića polja Molve (1974. god.) započela je proizvodnja iz dvije proizvodne bušotine kroz postrojenje CPS Molve I. Kapacitet spomenutog postrojenja je  $1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$  plina na ulazu u postrojenje.

U drugoj fazi, uz izgrađenu CPS Molve II krajem 1984. godine, u proizvodnju je pušteno još desetak proizvodnih bušotina na polju Molve, Kalinovac i Stari Gradac. Kapacitet CPS Molve II je  $3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$  ulaznog plina.

Zadnja faza privođenja punoj proizvodnji potencijala ovih polja realizirana je kroz Projekt Podravina (1987. do 1993. godine), izgradnjom dodatnih 20-ak proizvodnih bušotina, pet plinskih stanica i CPS Molve III (kapaciteta  $5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$  ulaznog plina), odnosno, 2000. godine puštanjem u rad dvije proizvodne bušotine i pripadajuće plinske stanice Gola Duboka.

Ulazni plin iz polja Duboke Podravine sadrži pored metana i težih ugljikovodika, i štetne primjese ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , živa i merkaptani), koje je potrebno izdvojiti.

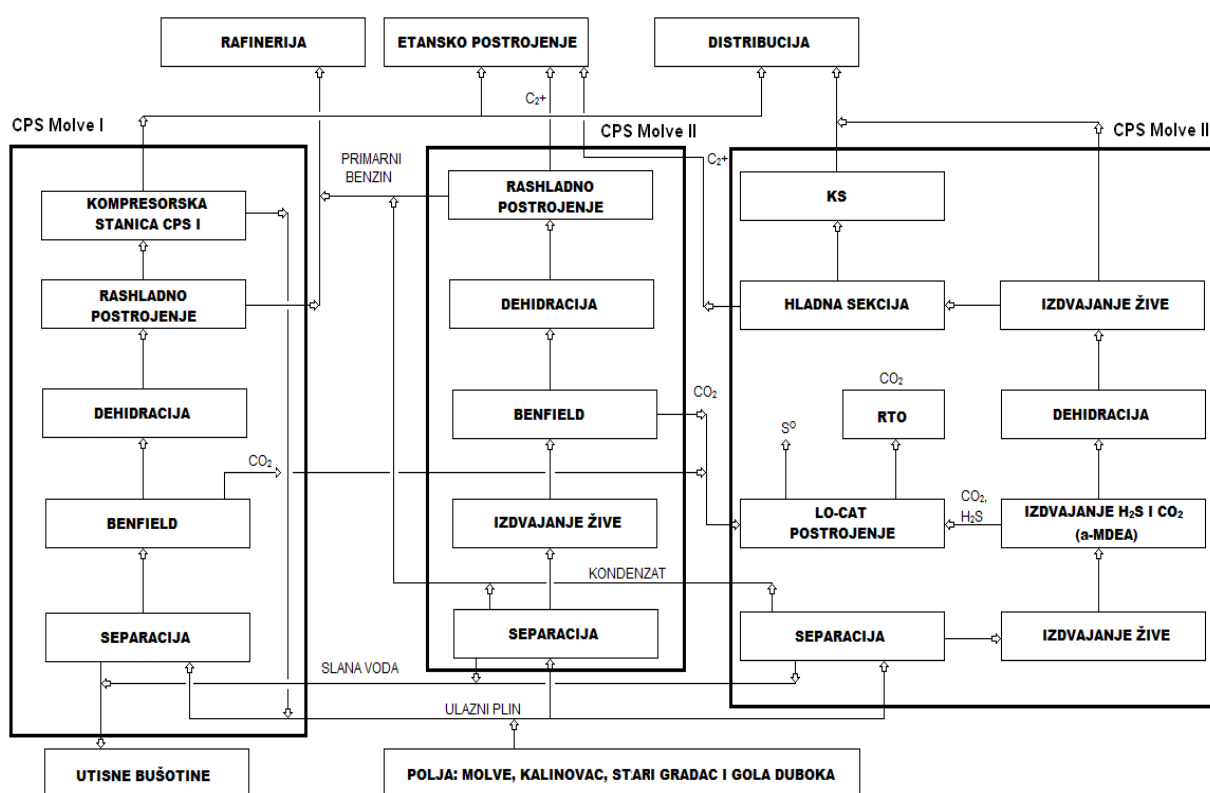
Štetni plinovi ( $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{S}$ ) izdvajaju se procesom apsorpcije. U postrojenjima CPS Molve I i CPS Molve II kao apsorber se koristi Benfield otopina, a u postrojenju CPS Molve III aMDEA otopina. Tehnološkim rješenjima na CPS Molve III, odnosno ugradnjom apsorbera žive (aktivni ugljen impregniran sumporom kao adsorbent), pretvorbom  $\text{H}_2\text{S}$  u elementarni sumpor (primjenom Lo Cat procesa), kao i uvođenjem RTO jedinice (gdje se preostali  $\text{H}_2\text{S}$  prevodi u  $\text{SO}_2$  termičkom oksidacijom) poštuju se strogi ekološki zahtjevi, te time bitno smanjuje utjecaj štetnih sastojaka na okolni zrak, tlo i vodu te u potpunosti skrbi o čovjekovu okolišu.

Plin se, nakon čišćenja, dehidrira (CPS Molve I i II kao za dehidraciju koriste proces apsorpcije i TEG kao apsorber, dok se u CPS Molve III plin dehidrira adsorpcijom, prolaskom kroz molekularna sita) i ulazi u NGL sustav CPS Molve III. U NGL sekciji se pothlađivanjem do zastoja 2011. izdvajao metan, koji je ulazio u transportni Plinacro sustav, i  $\text{C}_{2+}$  komponenta, koja se transportirala prema Etanskom postrojenju tehnološkim cjevovodom dugim 70 km.

Do 1993. godine (odnosno do starta CPS Molve III) odvajanje metana i  $\text{C}_{2+}$  frakcije se odvijalo samo na Etanskom postrojenju.

Prilikom crpljenja plina u ležištima ugljikovodika smanjuje se tlak (volumetrijski režim crpljenja). Kako se dio zaliha plina iz ležišta polja Molve zbog pada tlaka ne bi mogao

eksploatirati, budući je tlak rada procesnog postrojenja CPS Molve III viši (50 bar) od tlaka ulaza sirovog plina u postrojenje, bilo je potrebno izgraditi kompresorsku stanicu u okviru CPS Molve I, koja je puštena u rad 2011. godine.



Slika 4. Shematski prikaz procesa CPS Molve

Danas je u radu samo postrojenje CPS Molve III, koje radi sa oko 50% kapaciteta, te nešto izmijenjenim konačnim produktima: etan se, zajedno sa metanom, upućuje u transportni Plinacro sustav, dok se  $C_{3+}$  frakcija upućuje prema nekadašnjem postrojenju Etan (danas Objekti frakcionacije Ivanić Grad).



Kako je postrojenje veliko i sastoji se od velikog broja strojeva, za praćenje stanja, odabrani su slijedeći strojevi:

1. Pumpa 3202-A
2. Kompresor K-1933

U periodu od 45 dana izvršeno je 6 snimanja na odabranim strojevima po datumima:

02.12.14., 04.12.14., 11.12.14., 08.01.15., 13.01.15. i 15.01.15. godine.

#### **4.2. Praćenje stanja pumpe P-3202 A**

##### **TEHNOLOŠKA SEKCIJA IZDVAJANJA $H_2S$ i $CO_2$ – PUMPA P-3202 A**

U tehnološkoj sekciji za izdvajanje  $H_2S$  i  $CO_2$ , ugrađene su tri pumpe P-3202 A/B/C koje imaju uloga predpodizanja tlaka (booster pumpe) poluzasićene aMDEA otopine, za usis glavnih procesnih pumpi P-3201 A/B/C.

##### Tehnički podaci pumpe P-3202 A:

Proizvođač: Worthington

Vrsta pumpe: centrifugalna

Tip: 10 LN 27

Pogonski stroj: Parna turbina

Proizvođač: Dresser-Rand

Snaga pogonskog stroja: 250 kW

Broj okretaja turbine:  $2935 \text{ min}^{-1}$

Procesni parametri pumpe:

Kapacitet:  $1162 \text{ m}^3/\text{h}$

Broj okretaja:  $980 \text{ min}^{-1}$

Visina dobave: 54,7 m

Medij: poluzasićena aMDEA otopina

Između pogonskog stroja ( parne turbine ) i pumpe, ugrađen je reduktor s prijenosnim omjerom  $i = 1 : 2,995$

#### 4.2.1. Postupak snimanja pumpe

Prije svakog snimanja zabilježeni su meteorološki podaci za to područje; temperatura i tlak zraka, relativna vlažnost i brzina vjetra.

Svi bitni podaci unešeni su prilikom obrade slika u programu Flir Tools.

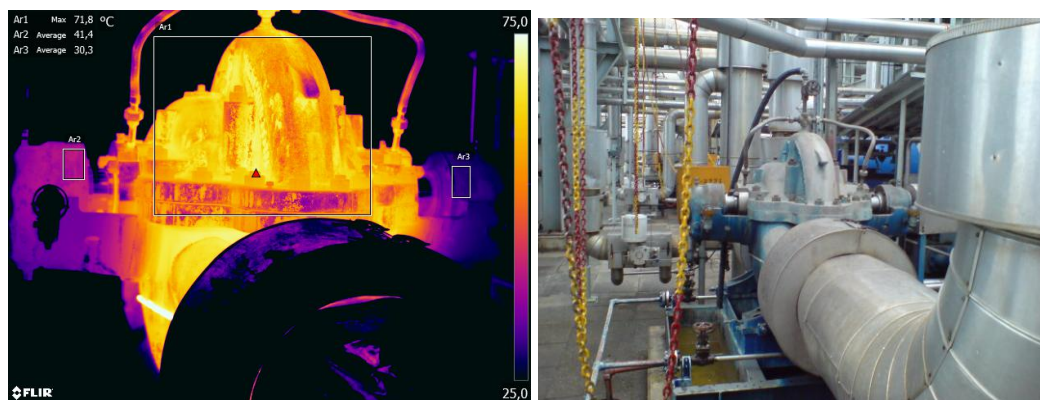
Kod snimanja pumpe, svaki put su napravljene po 4 slike:

- 1) Cijela pumpa s oba ležaja (prednji i stražnji)
- 2) Pumpa s ulaznim i izlaznim cjevovodom
- 3) Prednji ležaj i brtvenica s iste strane na pumpi
- 4) Stražnji ležaj i brtvenica s iste strane na pumpi



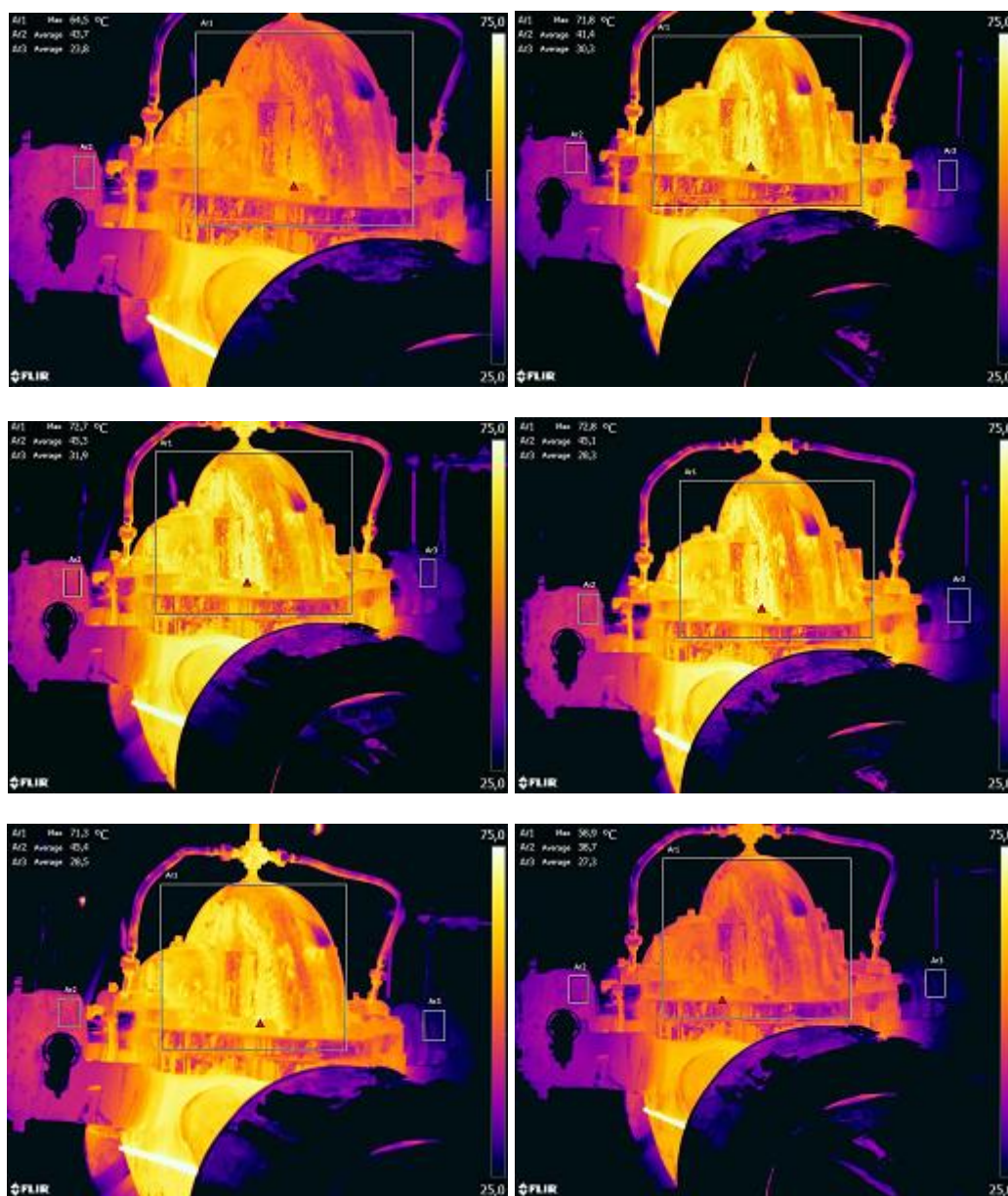
**Slika 5.    Pumpa 3202- A**

Na *Slici 5.* crvena strelica pokazuje pumpu, žuta prednji ležaj, zelena stražnji ležaj i crna brtvenicu na pumpi sa strane stražnjeg ležaja.

Cijela pumpa s oba ležaja (prednji i stražnji)

**Slika 6. Prikaz IC i obične fotografije pumpe**

Slijedeća slika *Slika 7.* prikazuje pumpu s oba ležaja po datumima snimanja. Na svaku sliku prilikom obrade stavljena je ista skala sa strane (25°C do 75°C), kako bi se odmah što lakše vidjele promjene na kućištu, tj. da je veliko povišenje temperature u odnosu na prethodni snimak, to bi se vrlo brzo i efikasno zamijetilo, što i jest sama bit održavanja.



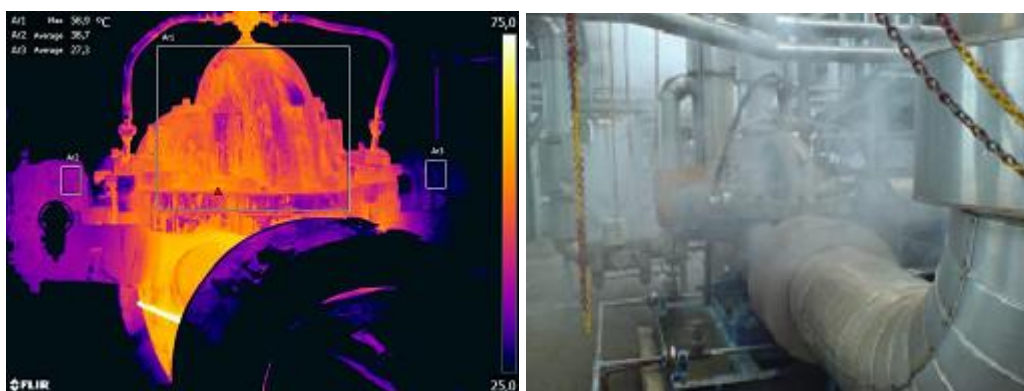
**Slika 7. Usporedni IC-prikaz kućišta pumpe s ležajevima po datumima**

Prilikom snimanja vodilo se je računa o tome, da se snima s približno iste udaljenosti, te pod istim kutem, što je također dosta važno.

Odmah na prvi pogled se vidi da je prva i zadnja IC fotografija značajno odstupaju od prosjeka, tj. temperatura s površine kućišta i ležaja je puno niža u odnosu na ostale termograme. Razlika maksimalnih temperatura kućišta posljednje IC fotografije (od 15.01.15.) i one od mjerenja prije (15.01.15.), bila je  $\Delta T = -14,4^{\circ}\text{C}$ , što dovodi do velikog pitanja, zašto se je pojavilo ovako veliko odstupanje.

Iz termograma se neda zaključiti uzrok ovoj pojavi, dok se iz digitalne fotografije to vrlo jednostavno vidi.

Glavni uzrok ovolikog odstupanja između dva mjerenja je vodena para iz oduška koja je dolazila iz pozadine i zaklanjala čitavu pumpu. Kako je pumpa bila u magli pare, ta para je pokupila dio emitiranog zračenja s promatrane površine, a ostatak je stigao na objektiv kamere, prikazano na slici *Slika 8*.



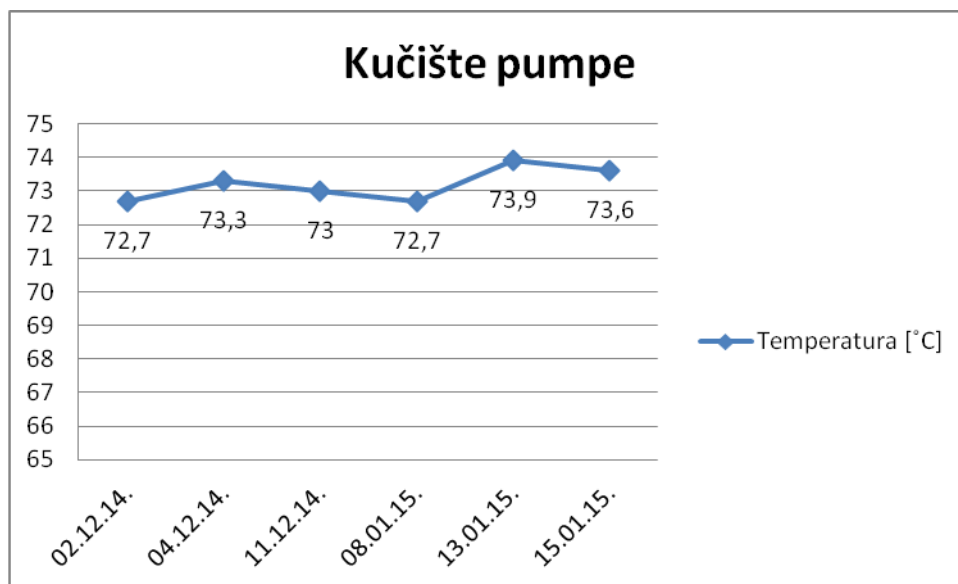
**Slika 8. Termogram i fotografija u magli**

Iz ovoga se može iščitati da je prilikom snimanja potrebno uzeti u obzir sve što može utjecati na to da bi se dobio dobar termogram.

Kad se jednom utvrdi da je prilikom normalnog radnog opterećenja pumpe temperatura kućišta, kao npr. u ovom primjeru oko  $73^{\circ}\text{C}$ , onda postaje jasno da prilikom slijedećih preventivnih pregleda nije bitna potpuno točna apsolutna temperatura, onog što snimamo.

Važno je napomenuti da se vrijednosti mjerenja uspoređuju po referentnim vrijednostima koje daje proizvođač po jednom od dva kriterija:

- 1) Kriterij razlike temperature  $\Delta T$
- 2) Kriterij maksimalne apsolutne temperature



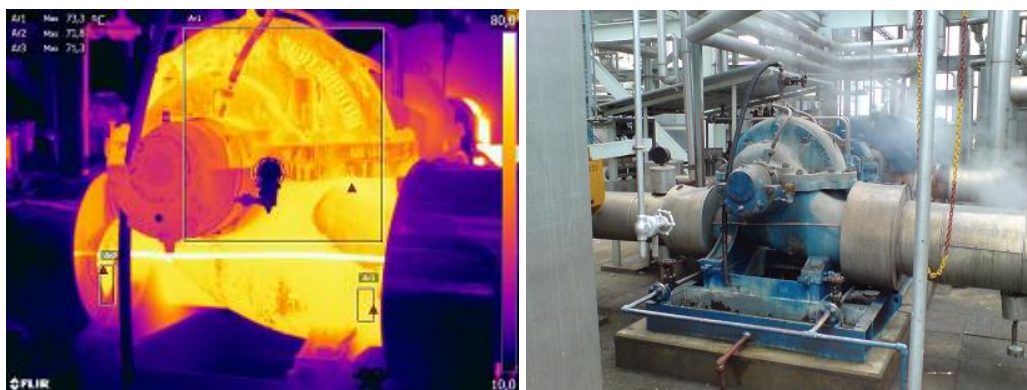
**Slika 9. Graf praćenja temperature kučišta pumpe – Area1**

Na slici iznad *Slika 9.* prikazane su vrijednosti temperature, istog dijela stroja ( na svim termogramima područje označeno s *Ar1* ) po datumima. Kako su prva i zadnja temperatura odstupale od prosjeka, uzete su vrijednosti iz drugih termograma, snimljene na isti dan, koji su snimljeni pod drugim kutem. Na taj način se je izbjegao utjecaj pare.

#### Pumpa s ulaznim i izlaznim cjevovodom

Na slici *Slika 10.*, ispod prikazan je termogram i slika pumpe, iz drugog kuta, gdje se vidi pumpa s ulaznim i izlaznim cjevovodom.



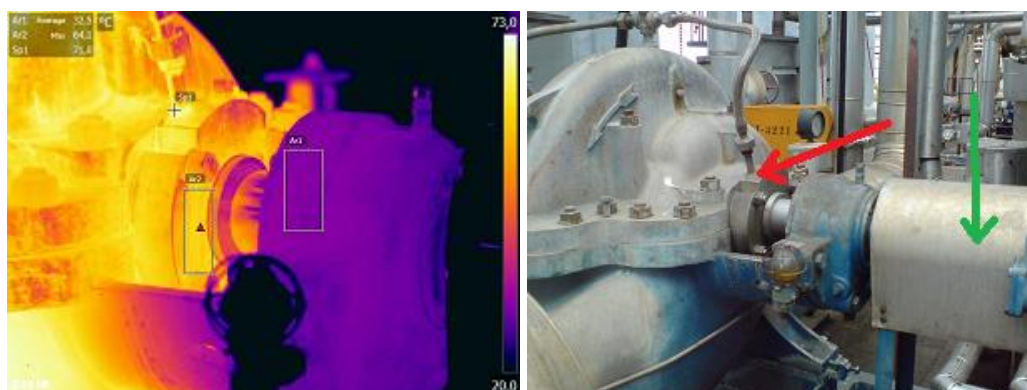


**Slika 10. Pumpa s ulaznim i izlaznim cjevovodom**

Temperature kućišta pumpe, kao i ulaznog i izlaznog cjevovoda ovise o procesnim parametrima pumpe, koji su prilikom svakog mjerenja prikupljeni i bilježeni. Navedene temperature unutar praćenog vremenskog perioda, bile su u uskom intervalu, s odstupanjem  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

#### Prednji ležaj i brtvenica s iste strane na pumpi

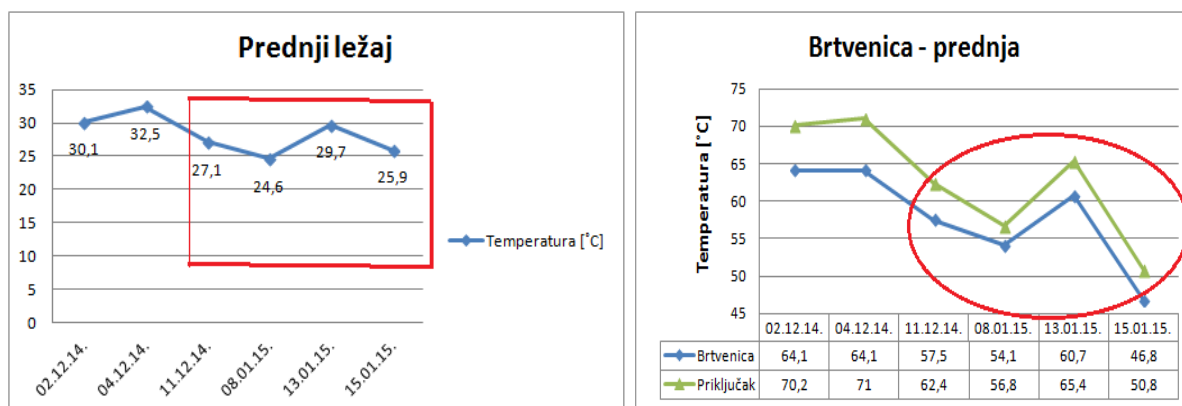
Kod ovih snimaka zanimljivo je bilo to što se mogu samo prva dva mjerenja uzeti u obzir, jer je svaki sljedeći put para pridonijela nevjerodostojnim rezultatima, što će se pokazati i graf *Slika 12*, a obilježeni su crvenom bojom.



**Slika 11. Prednji ležaj i brtvenica**

Termogram na *Slici 11.* prikazuje: područje na kućištu ležaja- Ar1, područje na brtvenici-Ar2, i točku spoja brtvenice i priključka- Sp1. Na fotografiji crvenom strelicom je označena ista točka- Sp1, a zelena strelica prikazuje spojku pod zaštitnim limom.

Za uspoređivanje temperatura ležaja, uzimana je prosječna temperatura označenog područja, a za uspoređivanje temperatura brtvenice, uzeta je maksimalna temperatura.



**Slika 12. Graf praćenja temperatura na prednjem ležaju i brtvenici**

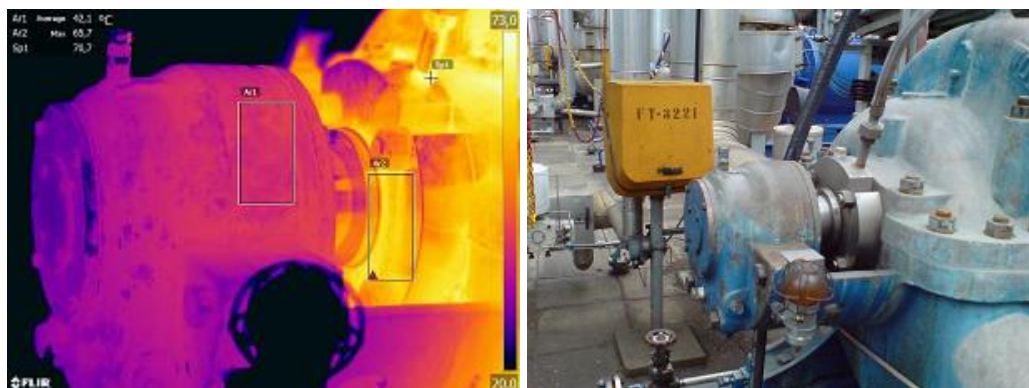
Kad se usporede temperature na brtvenici i na spoju brtvenice i priključka cijevi, uočava se da je spoj na višoj temperaturi od same brtvenice. Razlog je taj što se je na spoju pojavila korozija, te ta površina ima dugačiji emisijski faktor. Na spoju nema niti refleksije, kao s brtvenice.

Inače, snimanje površina čiji je materijal od nehrđajućih čelika, ili su visoko polirane (svijetle površine), je jako problematično. Problem je što u tom slučaju mjerimo i reflektiranu temperaturu, i ne raspolazemo s vjerodostojnim podacima.

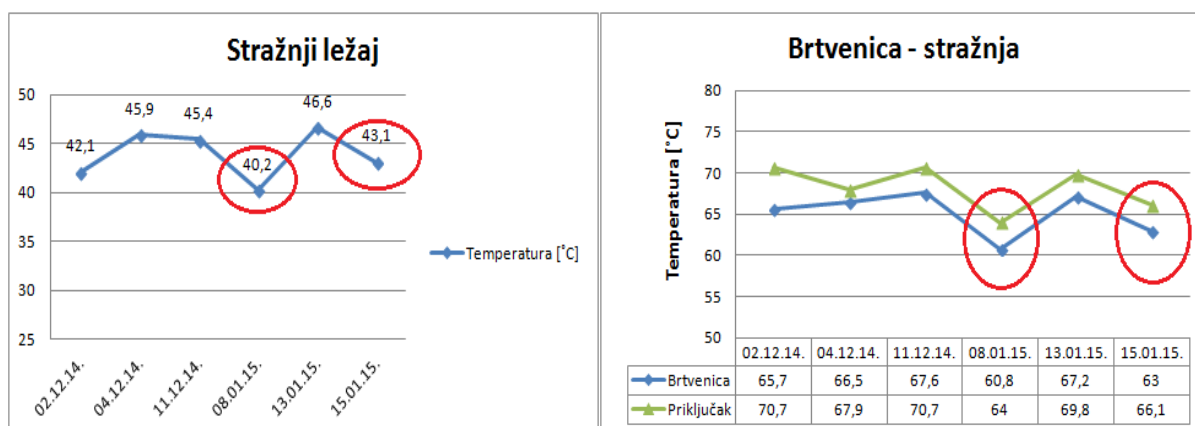


### Stražnji ležaj i brtvenica s iste strane na pumpi

Situacija je slična kao i kod prednjeg ležaja. U odnosu na prednji ležaj, na stražnjem su ustanovljene veće temperature za oko  $\Delta T = +10^{\circ}\text{C}$ , Slika 13.

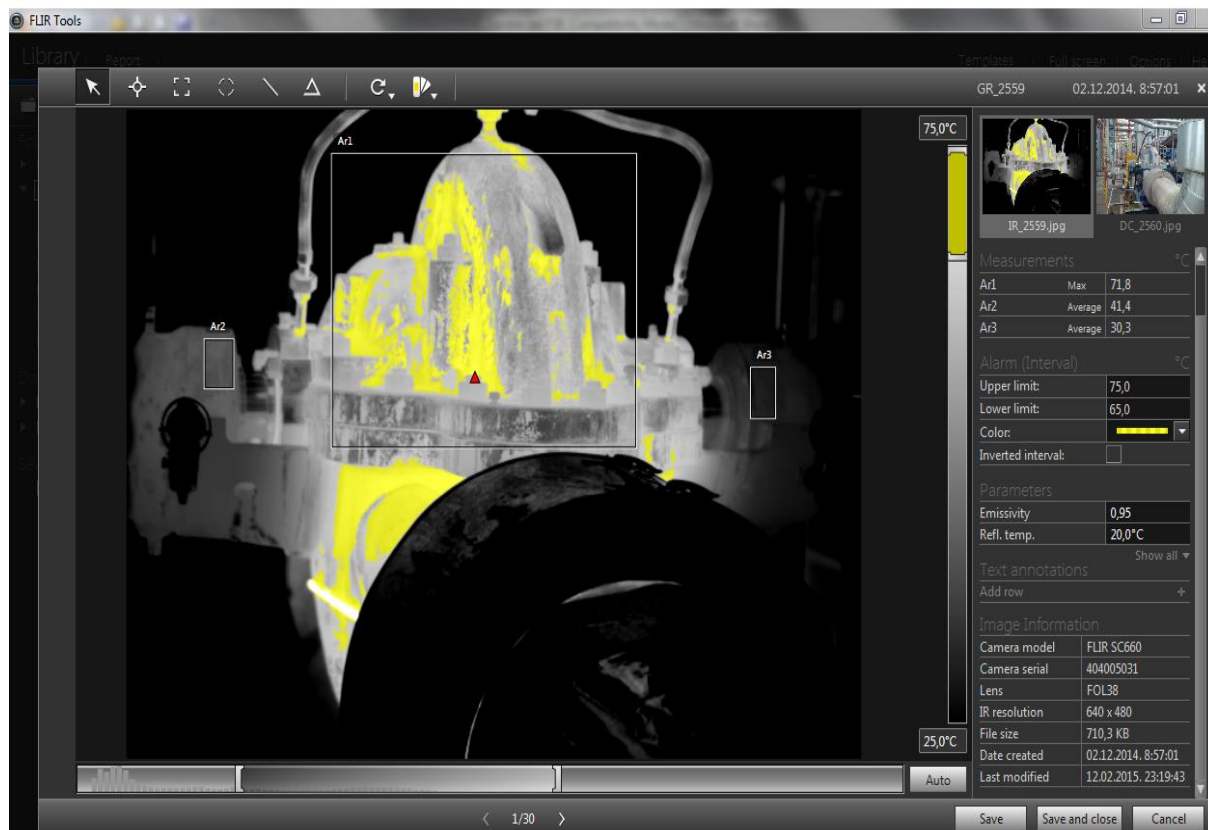


Slika 13. Stražnji ležaj i brtvenica



Slika 14. Graf praćenja temperatura na stražjem ležaju i brtvenici

Na Slici 14. vrijednosti temperature označene crvenom bojom se odbacuju, jer je prilikom snimanja, dio bio u sumaglici vodene pare.



**Slika 15. Primjer obrade slike u Flir Tools-u**

Na *Slici 15.* prikazan je mogući prikaz slike u programu „Interval“, što može biti jako korisno, jer se prikazu samo ona mjesta na termogramu, koja nas zanimaju. U ovom primjeru je postavljen interval temp. od 65°C do 75°C.

### 4.3. Praćenje stanja kompresora K-1933

#### KOMPRESORSKA STANICA CPS I – KOMPRESOR K-1933

Kompresorska stanica CPS I se sastoji od 3 kompresora Ingersoll-Rand, koji komprimiraju zemni plin sa 20 – 25 bar na tlak 45 – 50 bar.

#### Tehnički podaci kompresora K-1933:

Proizvođač: Ingersoll-Rand

Tip: 2 RDS-1

Broj cilindara: 2

Promjer cilindra: 9,25"

Hod klipa: 5,5"

Pogonski stroj: Elektromotor

Proizvođač: Končar

Snaga pogonskog stroja: 735 kW

Procesni parametri:

Ulazni tlak: 20 – 25 bar

Izlazni tlak: 45 – 50 bar

Broj okretaja: 653 min<sup>-1</sup>

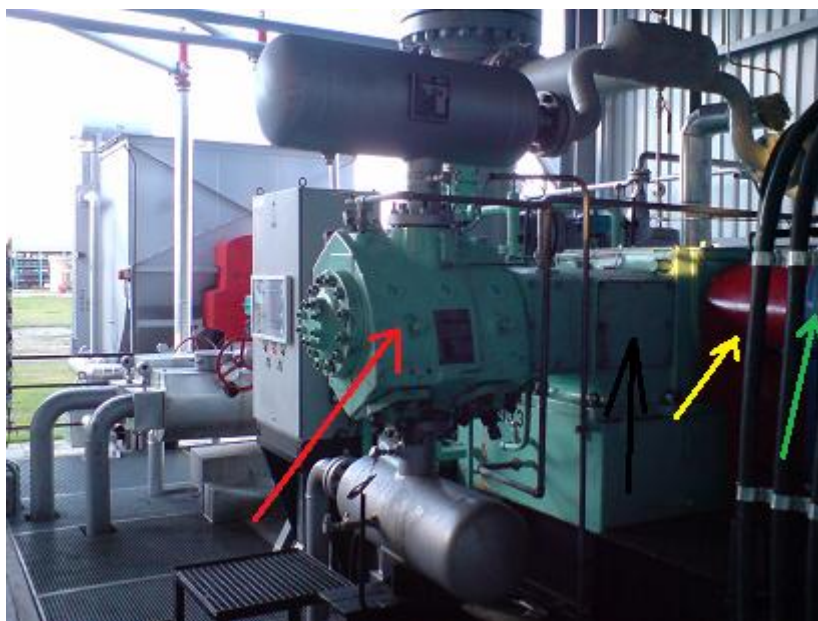
Kapacitet: 400.000 m<sup>3</sup>/dan

#### 4.3.1. Postupak snimanja kompresora

Postupak snimanja bio je isti kao i za pumpu.

Kod snimanja kompresora, svaki put je napravljeno po 8 slika:

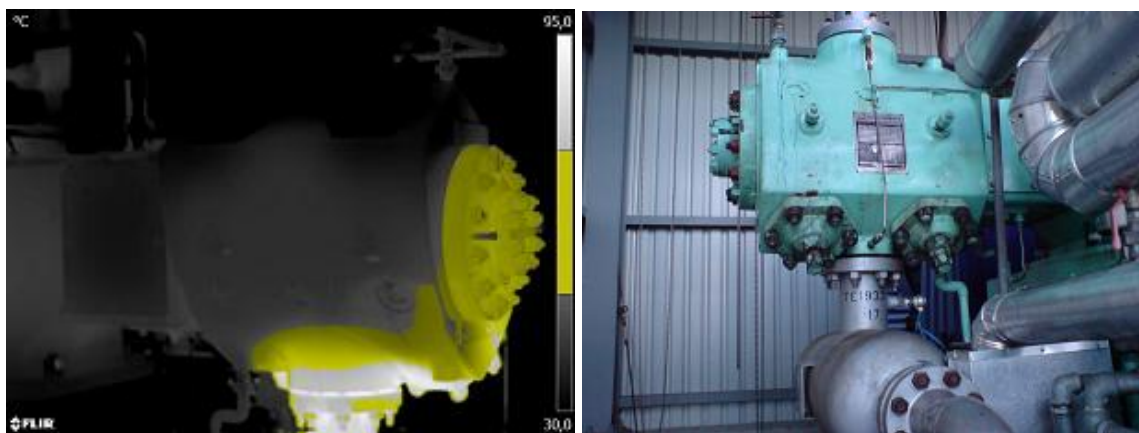
- 5) Desni cilindar cijeli s cijevima usisa i tlačne strane
- 6) Desni tlačni dio sa ventilima i utisnom cijevi
- 7) Desni usisni dio sa ventilima i usisnom cijevi
- 8) Lijevi cilindar cijeli s cijevima usisa i tlačne strane
- 9) Lijevi tlačni dio sa ventilima i utisnom cijevi
- 10) Lijevi usisni dio sa ventilima i usisnom cijevi
- 11) Kućište prednjeg dijela kompresora (prednji ležaj)
- 12) Kućište stražnjeg dijela kompresora (stražnji ležaj)



**Slika 16. Kompresor C- 1933**

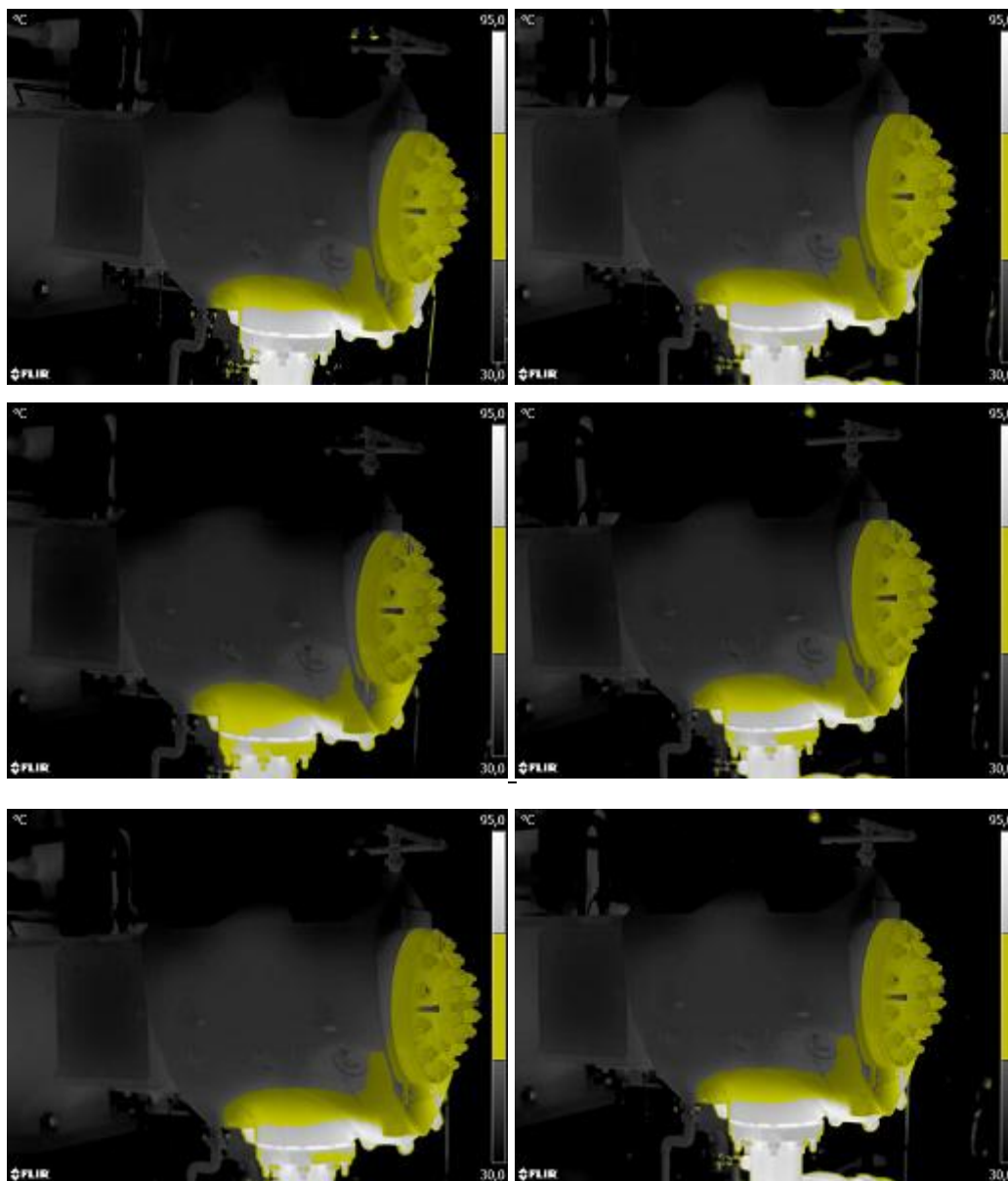
Na *Slici 16.* prikazan je kompresor, označen crnom strelicom, crvena strelica prikazuje cilindar s jedne strane kompresora, žuta pokazuje poklopac ispod kojeg se nalazi spojka i zelena pokazuje elektromotor, koji pokreće kompresor.

Desni cilindar cijeli s cijevima usisa i tlačne strane



**Slika 17. IC prikaz i fotografija desnog cilindra kompresora**

Slijedeća slika *Slika 18.* prikazuje cijeli desni cilindar s ventilima te ulaznom i izlaznom cijevi po datumima snimanja. Na svaku sliku prilikom obrade stavljena je ista skala sa strane ( $30^{\circ}\text{C}$  do  $95^{\circ}\text{C}$ ), s uključenom opcijom „Interval“ od  $50^{\circ}\text{C}$  do  $75^{\circ}\text{C}$  kako bi se odmah što lakše vidjele promjene na kućištu, tj. da je veliko povišenje temperature u odnosu na prethodni snimak, to bi se vrlo brzo zamijetilo.

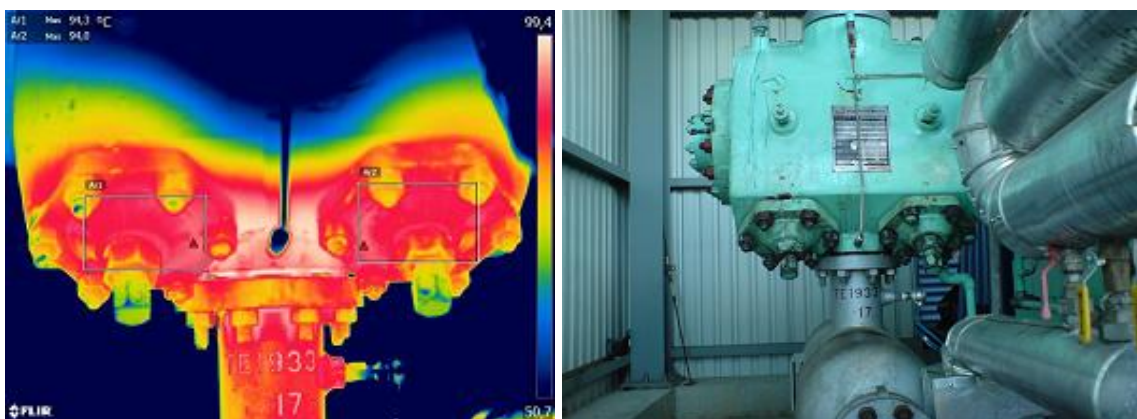


**Slika 18. Usporedni IC-prikaz desnog cilindra kompresora po datumima**

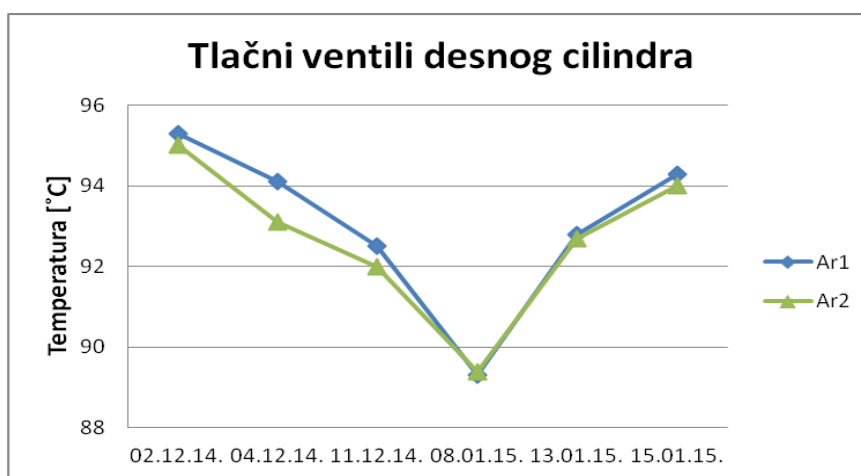
Iz *Slike 18.* se jako dobro vidi da temperaturna raspodjela u promatranom intervalu je gotovo ista na svim snimkama. Kad bi jedan od ventila „prolupao“, sigurno bi se na nekoj od snimaka pojavio širi pojas postavljenog intervala, u odnosu na prethodno stanje (prijašnje snimke).

#### Desni tlačni dio sa ventilima i utisnom cijevi

Tu su mjerene maksimalne temperature na tlačnim ventilima (označeni su s Ar1 i Ar2) desnog cilindra *Slika 19.* Mjerenjima je ustanovljeno da je temperatura svaki put na ventilima bila ista u stupanj  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ , a kretala se između  $89^\circ\text{C}$  i  $95^\circ\text{C}$ , *Slika 20.* što je ovisilo o procesnim parametrima.



**Slika 19. Termogram i slika tlačnih ventila desnog cilindra kompresora**

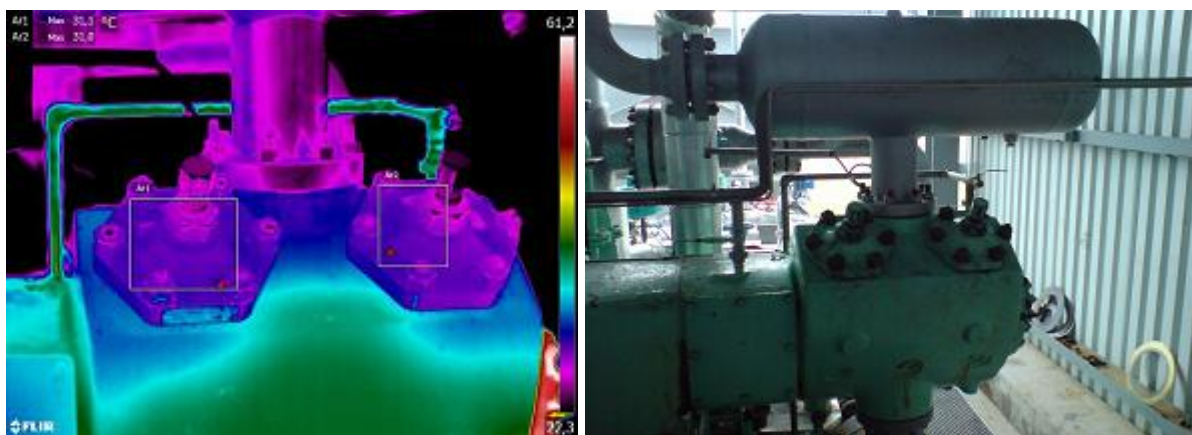


**Slika 20. Graf temperatura T.V. desnog cilindra u praćenom periodu**

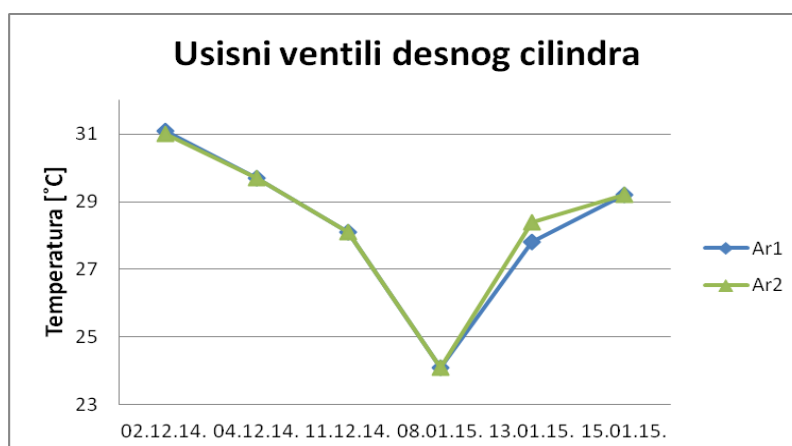


### Desni usisni dio sa ventilima i usisnom cijevi

Vrijednosti temperature po izvršenim mjerenjima, prikazane su na *Slici 22*. Usisni ventili *Slika 21*. su i prema očekivanju, hladniji od tlačnih *Slika 19.*, a raspon temperature na njima bio je između 24°C i 31°C. Oba usisna ventila imala su svaki puta skoro identičnu temperaturu, s maksimalnim odstupanjem od  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ .



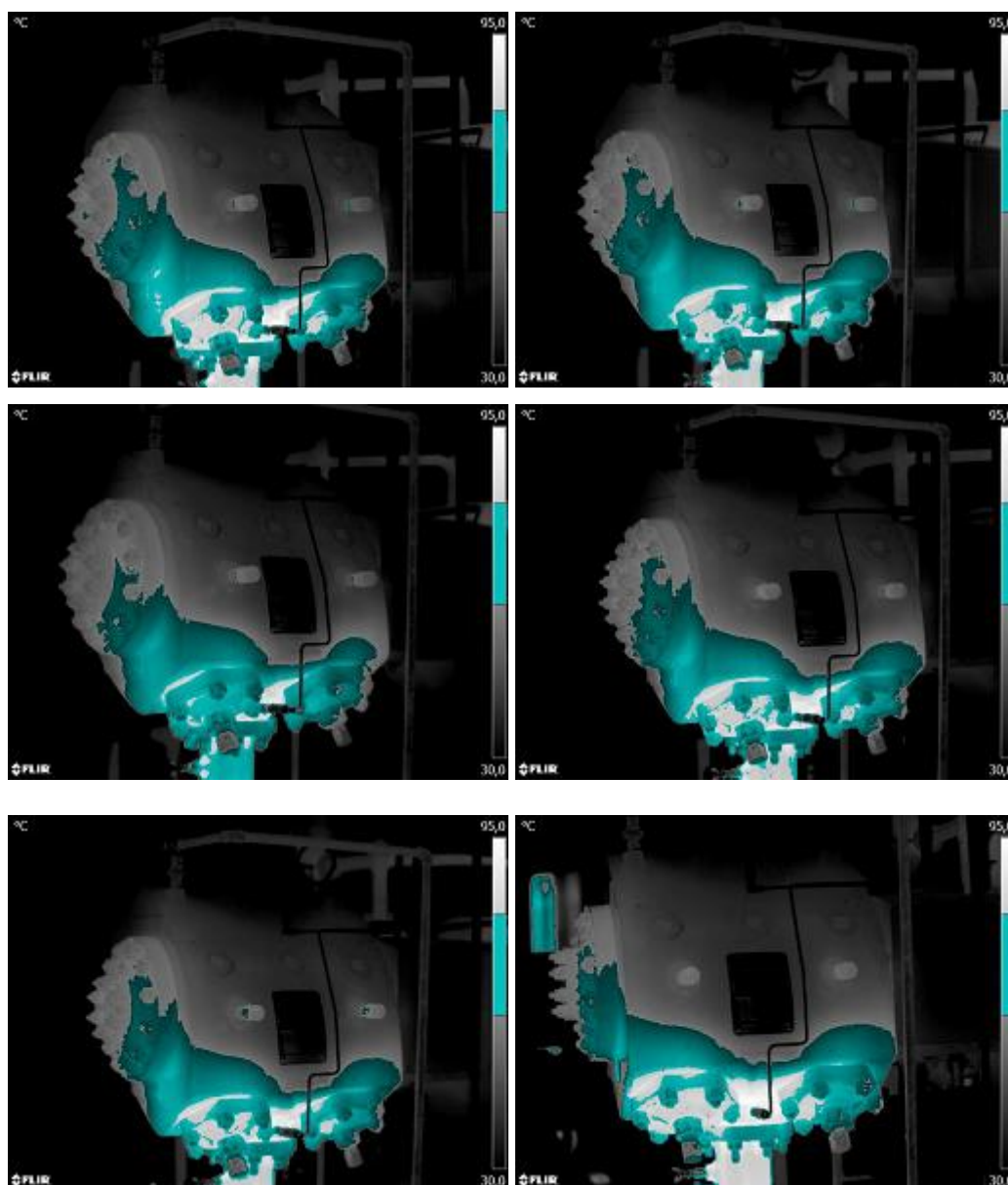
**Slika 21. Termogram i slika usisnih ventila desnog cilindra kompresora**



**Slika 22. Graf temperatura U.V. desnog cilindra u praćenom periodu**

Lijevi cilindar cijeli s cijevima usisa i tlačne strane

Slijedeća slika *Slika 23.* prikazuje cijeli lijevi cilindar s ventilima te ulaznom i izlaznom cijevi po datumima snimanja. Na svaku sliku prilikom obrade stavljena je ista skala sa strane (30°C do 95°C), s uključenom opcijom „Interval“ od 60°C do 80°C kako bi se odmah što lakše vidjele promjene na kućištu, tj. da je veliko povišenje temperature u odnosu na prethodni snimak, to bi se vrlo brzo zamijetilo.



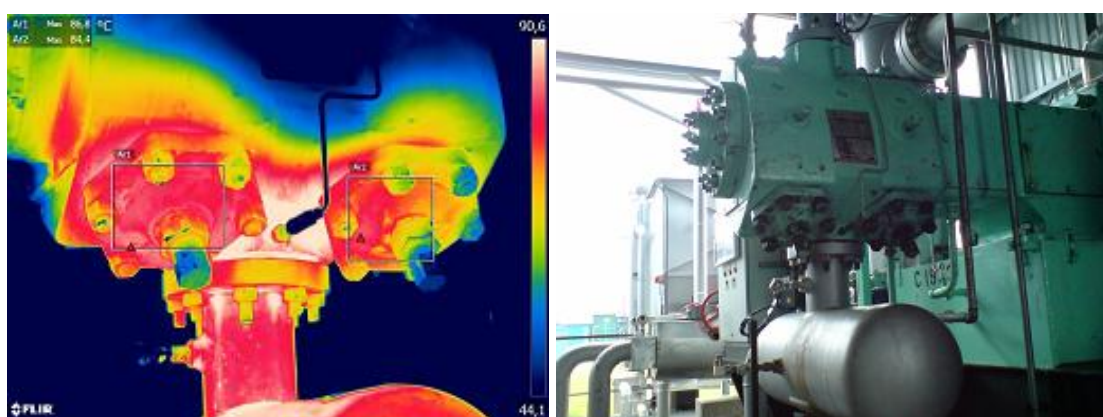
**Slika 23. Usporedni prikaz lijevog cilindra kompresora po datumima**



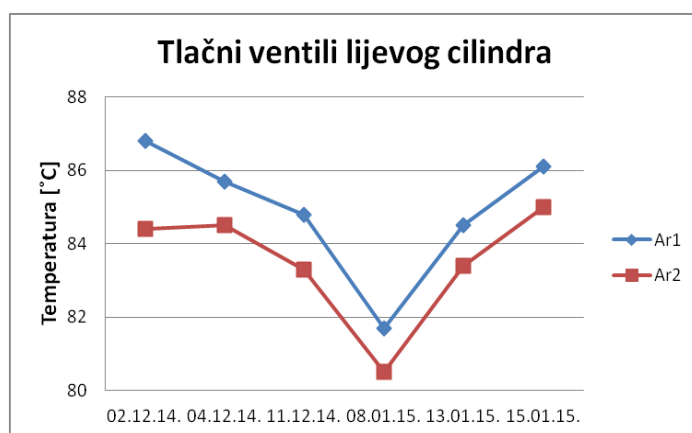
### Lijevi tlačni dio sa ventilima i utisnom cijevi

Princip snimanja potpuno je isti, kao i na desnom cilindru. Pratili su se tlačni ventili lijeve strane. Iz grafa *Slika 25.*, vidi se da je raspon temperature na ventilima bio između 80°C i 87°C, što je u prosjeku za oko 8°C niže u odnosu na tlačne ventile desne strane, a za iste procesne parametre.

Razlika temperature između samih tlačnih ventila na lijevoj strani bila je  $\pm 2,5^\circ\text{C}$ .



**Slika 24. Termogram i slika tlačnih ventila lijevog cilindra kompresora**

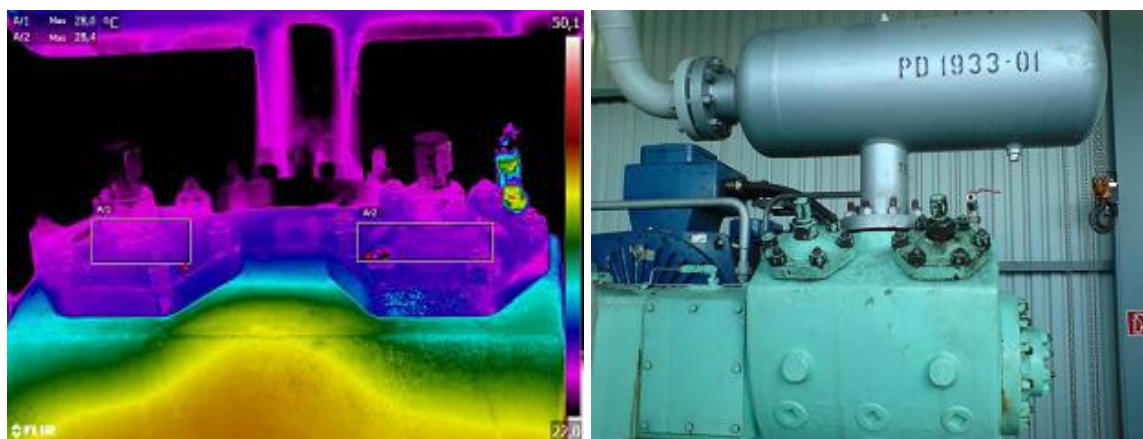


**Slika 25. Graf temperatura T.V. lijevog cilindra u praćenom periodu**

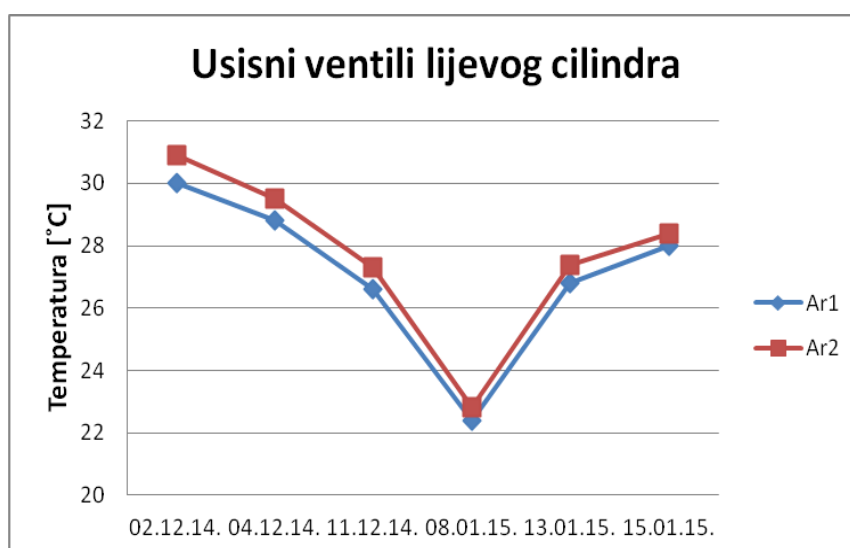
### Lijevi usisni dio sa ventilima i usisnom cijevi

Vrijednosti temperature po izvršenim mjerenjima, prikazane su na *Slici 27*. Vidi se da je raspon temperature na usisnim ventilima bio između 22°C i 31°C, što je u skoro pa identično u odnosu na usisne ventile desne strane, a za iste procesne parametre.

Razlika temperature između samih tlačnih ventila na lijevoj strani bila je  $\pm 1^\circ\text{C}$ , maksimalno.



**Slika 26. Termogram i slika usisnih ventila lijevog cilindra kompresora**

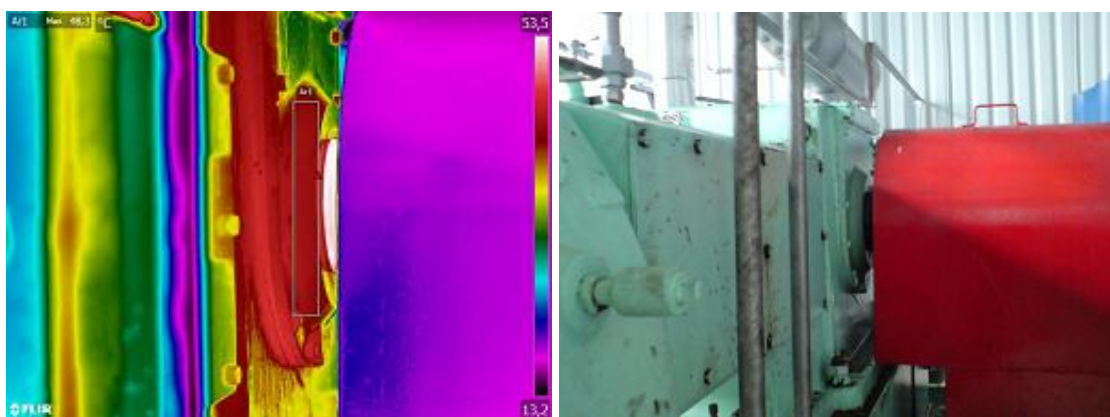


**Slika 27. Graf temperatura U.V. lijevog cilindra u praćenom periodu**

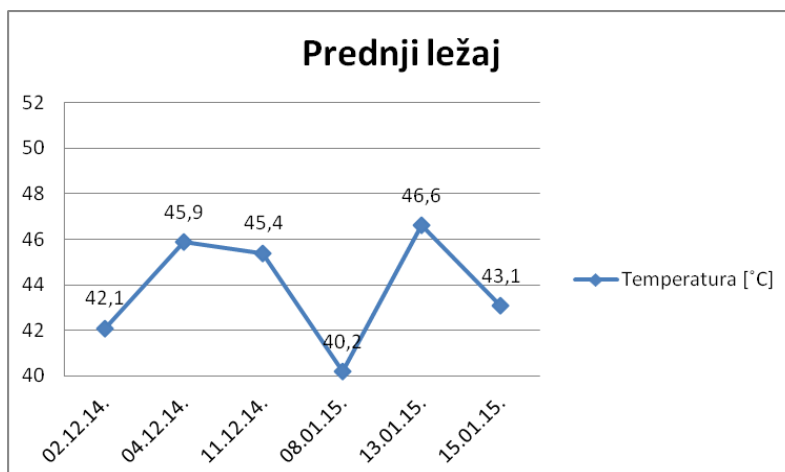
Kučište prednjeg dijela kompresora (prednji ležaj)

Vrijednosti temperature po izvršenim mjerenjima, prikazane su na *Slici 29*. Vidi se da je raspon temperature na prednjem ležaju bio između 40°C i 47°C, što je ovisilo o procesnim parametrima.

Također je iz *Slike 28*., vidljivo da se vratilo grijalo više od samog ležaja.



**Slika 28. Termogram i slika prednjeg ležaja kompresora**

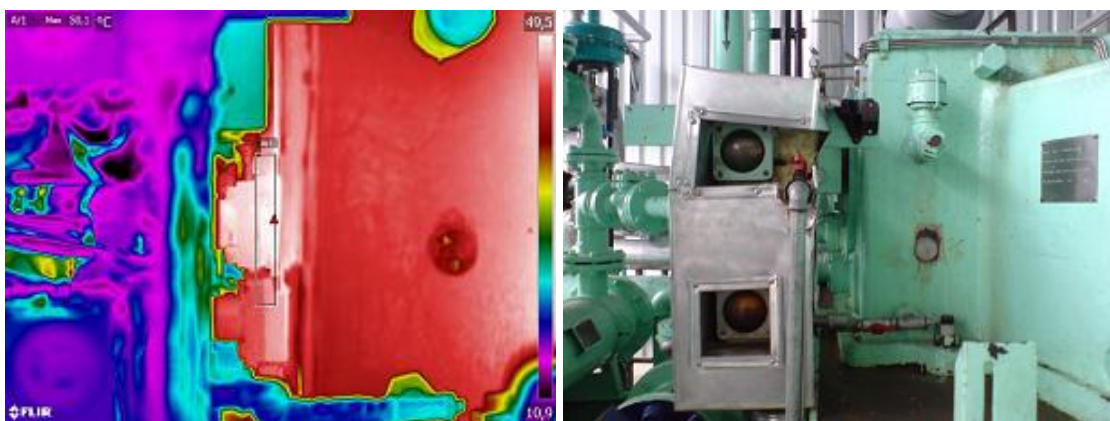


**Slika 29. Graf temperatura prednjeg ležaja kompresora u praćenom periodu**

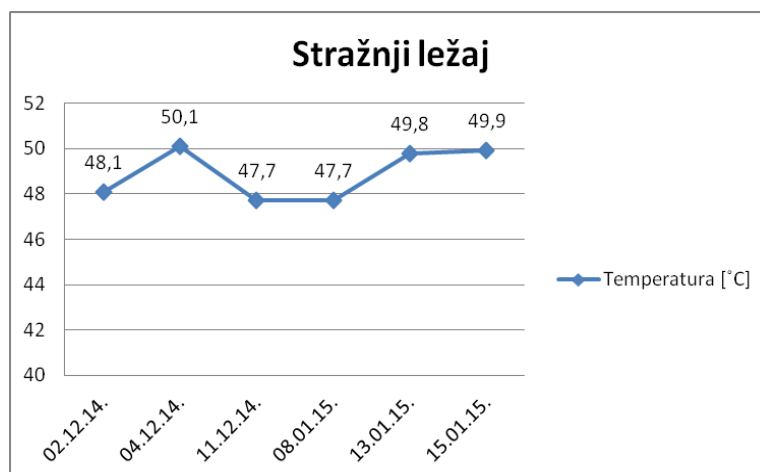
Kučište stražnjeg dijela kompresora (stražnji ležaj)

Vrijednosti temperature po izvršenim mjerenjima, prikazane su na *Slici 31*. Vidi se da je raspon temperature na stražnjem ležaju bio između 47°C i 50°C, što je ovisilo o procesnim parametrima.

Termogram uvijek prikazuje užu područje snimanja, u odnosu na običnu fotografiju, tj. više zumira promatrani objekt.



**Slika 30. Termogram i slika stražnjeg ležaja kompresora**



**Slika 31. Graf temperatura stražnjeg ležaja kompresora u praćenom periodu**

## 5. Oprema i alati korišteni tijekom IC snimanja

Za snimanje termograma korištena je IC kamera, marke FLIR SC 660, prijenosno računalo i računalni program Flir Tools za obradu snimljenih termograma.

Oznaka na kameri SC, označava seriju. To je posebna „scientific“, kamera, s ugrađenom opremom; od, npr. laserske zrake, da se može lakše orijentirati na područje objekta koje se želi snimiti i dr.

Temperaturni raspon kamere „Range“, može se birati između:

- 1)  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $120^{\circ}\text{C}$
- 2)  $0^{\circ}\text{C}$  do  $500^{\circ}\text{C}$
- 3)  $300^{\circ}\text{C}$  do  $1500^{\circ}\text{C}$



Slika 32. IC kamera Flir SC660

Mogućnosti softvera Flir Tools:

Alati za analizu kao rezultat daju tablicu rezultata. Crtež, profil ili histogram, u ovom softveru nije moguće dobiti, već za to je korišten Excell.

Najčešća razlika između pojedinih dijelova termograma su različite vrijednosti emisijskog faktora i različite udaljenosti promatranih objekata od objektiva kamere. Svi alati za analizu termograma (izuzev izoterme) prihvaćaju korekciju parametara objekta pri naknadnoj analizi.

**Tablica 1. Alati za analizu u softveru [2]**

<i>Izoterma</i>	Izoterma je marker koji u infracrvenom prikazu označava mjesta na kojima je zračenje koje dolazi s površine promatranog objekta jednako. To zapravo znači da su označena područja iste temperature ukoliko je emisijski faktor objekta isti preko cijelog mjerenog područja. Aktiviranjem se ove ikonice omogućuje izbor između pet standardnih tipova izoterma na IC prikazu.
<i>Točka</i>	Nakon odabira položaja točke na termogramu u tablici rezultata može se dobiti iznos temperature, temperaturne razlike u odnosu na referentnu temperaturu, emisijski faktor, udaljenost objekta i koordinate točke na termogramu.
<i>Leteća točka</i>	Ovaj alat prikazuje vrijednost temperature na mjestu pokazivača miša.
<i>Područje</i>	Ovaj alat mjeri maksimum, minimum i prosječnu vrijednost temperature unutar odabranog dijela termograma, a vrijednosti prikazuje u tablici rezultata. Rezultati se također mogu predstaviti grafički, pomoću histograma. Moguće je dobiti vrijednost emisijskog faktora objekta, udaljenost objekta i koordinate područja. Područje je moguće kreirati kao pravokutnik, krug ili proizvoljan poligon.
<i>Linija</i>	Ovaj alat mjeri minimum, maksimum i prosjek temperature duž linije povučene unutar granica termograma. Rezultati su prikazani tablično. Linija se naknadno može pomicati preko termograma te joj je moguće promijeniti veličinu i nagib.

**Tablica 2. Tehnički podaci kamere**

Vidno polje	24° x 18° / 0.3 m 12° x 9° / 1.2 m 45° x 34° / 0.2 m Objektiv: Fibre optics Lens ( FOL38 )
Prostorna rezolucija	0.65 mrad za 24° leću 0.33 mrad za 12° leću 1.3 mrad za 45° leću
Temperaturna osjetljivost	0,03°C kod 30°C
Zoom	1-8x
Raspon po valnim duljinama	7.5 - 13 µm
Detektor	Focal Plane Array (FPA) nehladeni mikrobolometar 640 x 480 piksela
Temperaturni raspon	-40°C do +1500°C
Točnost	+/- 2%
Display	5.6" color LCD, 1024 x 600 piksela
Pohrana slika	SD memorijska kartica; JPEG format, uključuje podatke mjerenja; Spremaju se simultano IC slika, automatski povezana s odgovarajućom digitalnom slikom
Video kamera	3.2 Mpiksela auto-fokus i bljeskalica
Laserska zraka	Semiconductor AlGaInP diode laser, Class 2
Baterija	Punjiva Lithium-ion;
Vrijeme rada s baterijom	3 sata pri 25 °C
Sustav punjenja	AC/DC pretvarač, 90–260 V AC, 50/60 Hz ; 12 V DC-izlaz
Granične radne temperature	-15 °C do +50 °C
Granične temperature za skladištenje opreme	-40 °C do +70 °C
Spremanje slike	u realnom vremenu, 14 bitni digitalni zapis
USB-A	Za vanjski stick
USB-Mini-B	Prijenos podataka s/na PC
Težina kamere s baterijom	1.8 kg
Dimenzije kamere	L x W x H: 299 x 144 x 147 mm

## 6. Zaključak

Pri korištenju termografije treba biti jako dosljedan, prilikom izvođenja snimanja, kao i kod obrade snimaka, jer treba dobro podesiti sve utjecajne faktore. U protivnom se mogu dobiti vrlo nevjerodostojni rezultati mjerenja. Posebno, ako se prati isti objekt, na termogramu je uvijek potrebno označavati istim redoslijedom. Na termogramu je potrebno podešavati i emisijske faktore, za različite površine, ukoliko su izrađene od različitih materijala.

Na rezultate mjerenja može utjecati kut snimanja, razne smetnje poput pare, refleksija od okolnih objekata itd.

Dobiveni rezultati mjerenja, nekad su dosta odstupali i na prvi pogled neiskusni promatrač odmah bi mogao zaključiti da s promatranim objektom nešto nije u redu, ili da je došlo do oštećenja. No kad se sve uzme u obzir i dobro sagleda, vidi se na rezultatima koji su odbačeni da se ispred objektiva kamere nalazila para, koja je pokupila dio zračenja s površine objekta koji se je promatrao, a na osjetnik kamere je stigao samo ostatak zračenja topline. Kad bi se promatrao samo termogram, ne bi se to moglo zaključiti, već kad se pogleda obična fotografija, tamo se vrlo lako uoči para.

Na temelju navedenih razmatranja u radu, možemo zaključiti slijedeće:

- 1) Termografija se je kao dijagnostička metoda u održavanju pokazala izvrsnom u predviđanju održavanja i osiguranja raspoloživosti opreme u proizvodnji. Glavna prednost upotrebe termografskih kamera je brzo i jednostavno otkrivanje grešaka, gdje se može izbjeći dugotrajan proces provjere i ispravljanja grešaka. Greške se mogu otkriti prije nego što dođe do kvara opreme ili drugih vrsta gubitaka. Na taj način smanjuju se troškovi održavanja, povećava se dužina rada opreme te produktivnost rada.
- 2) Za velike industrijske sustave kao što su npr. nuklearne elektrane, velika procesna postrojenja itd. vrlo je važno da ne dođe do iznenadnog kvara ili zastoja, čiji bi popravak koštao jako puno, a već se gubi samim time što postrojenje nije u funkciji, dakle ne proizvodi. Još je mogući gori slučaj da dođe do velike havarije koja bi mogla ugroziti živote ljudi. Tu se termografija pokazuje kao jedan od glavnih ključeva za uspješnost i konkurentnost industrijskih poduzeća.



## 7. Literatura

- [1] M. Andrassy, I. Boras, S. Švaić: Osnove termografije s primjenom, Zagreb, 2008.
- [2] [http://www.fsb.unizg.hr/termolab/nastava/Infracrvena%20termografija\\_Vjezbe\\_FSB\\_Boras.pdf](http://www.fsb.unizg.hr/termolab/nastava/Infracrvena%20termografija_Vjezbe_FSB_Boras.pdf)
- [3] [http://supeus.hr/wp-content/uploads/2011/11/Supeus\\_Seminar\\_Termografija\\_Svaic.pdf](http://supeus.hr/wp-content/uploads/2011/11/Supeus_Seminar_Termografija_Svaic.pdf)
- [4] <http://hr.wikipedia.org/wiki/Termografija>
- [5] <http://www.acordsped.hr/termografija/strojarstvo>
- [6] <http://www.kostelgrad.hr>
- [7] [www.micom-tm.com/index.php/hr/.../termografija](http://www.micom-tm.com/index.php/hr/.../termografija)
- [8] [www.instruktazni.hr/...termografija/instruktazni\\_centar](http://www.instruktazni.hr/...termografija/instruktazni_centar)

## Prilozi

I. CD-R disc

II. Tehnička dokumentacija

### Tehnički podaci o strojevima

#### KOMPRESORSKA STANICA CPS I – KOMPRESOR K-1933

Kompresorska stanica CPS I se sastoji od 3 kompresora Ingersoll-Rand, koji komprimiraju zemni plin sa 20 – 25 bar na tlak 45 – 50 bar.

##### Tehnički podaci kompresora K-1933:

Proizvođač: Ingersoll-Rand

Tip: 2 RDS-1

Broj cilindara: 2

Promjer cilindra: 9,25"

Hod klipa: 5,5"

Pogonski stroj: Elektromotor

Proizvođač: Končar

Snaga pogonskog stroja: 735 kW

Procesni parametri:

Ulazni tlak: 20 – 25 bar

Izlazni tlak: 45 – 50 bar

Kapacitet: 400.000 m<sup>3</sup>/dan

## TEHNOLOŠKA SEKCIJA IZDVAJANJA $H_2S$ i $CO_2$ – PUMPA P-3202 A

U tehnološkoj sekciji za izdvajanje  $H_2S$  i  $CO_2$ , ugrađene su tri pumpe P-3202 A/B/C koje imaju uloga predpodizanja tlaka (booster pumpe) poluzasićene aMDEA otopine, za usis glavnih procesnih pumpi P-3201 A/B/C.

### Tehnički podaci pumpe P-3202 A:

Proizvođač: Worthington

Vrsta pumpe: centrifugalna

Tip: 10 LN 27

Pogonski stroj: Parna turbina

Proizvođač: Dresser-Rand

Snaga pogonskog stroja: 250 kW

Procesni parametri pumpe:

Kapacitet:  $1162 \text{ m}^3/\text{h}$

Broj okretaja:  $980 \text{ min}^{-1}$

Visina dobave: 54,7 m

Medij: poluzasićena aMDEA otopina